

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
Ingeniero de Sistemas**

**TEMA:  
“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGÍAS LORAWAN Y GSM/GPRS A FIN  
DE EVALUAR MÉTRICAS COMO EL RENDIMIENTO, CONSUMO DE ENERGÍA Y  
COBERTURA PARA TRANSMISIONES DE DATOS EN ESCENARIOS IOT.”**

**AUTORES:  
ANDRÉS FERNANDO JARAMILLO LOJAN  
PAÚL ALEXANDER NAVARRETE CAÑART**

**TUTOR:  
MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE**

**Quito, julio del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Andrés Fernando Jaramillo Lojan, Paúl Alexander Navarrete Cañart. Con documento de identificación N° 1724195357 y N° 1721779914, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGÍAS LORAWAN Y GSM/GPRS A FIN DE EVALUAR MÉTRICAS COMO EL RENDIMIENTO, CONSUMO DE ENERGÍA Y COBERTURA PARA TRANSMISIONES DE DATOS EN ESCENARIOS IOT”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de ingenieros de sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....  
Andrés Fernando Jaramillo Lojan

1724195357

.....  
Paúl Alexander Navarrete Cañart

1721779914

Quito, julio del 2021

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, con el tema: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGÍAS LORAWAN Y GSM/GPRS A FIN DE EVALUAR MÉTRICAS COMO EL RENDIMIENTO, CONSUMO DE ENERGÍA Y COBERTURA PARA TRANSMISIONES DE DATOS EN ESCENARIOS IOT.”, realizado por Andrés Fernando Jaramillo Lojan y Paúl Alexander Navarrete Cañart, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio 2021



Manuel Rafael Jaya Duche  
C.I: 1710631035

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Javier y Fanny, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis abuelitos por acompañarme en toda mi vida estudiantil y por el apoyo moral, que me brindaron, lo cual me sirvió para crecer como persona y ser un buen nieto y profesional.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que compartieron sus conocimientos conmigo.

Andrés Fernando Jaramillo Lojan

Dedico el presente trabajo de titulación a toda mi familia al ser un gran pilar para mí en el transcurso de la Universidad.

Primero a Dios por guiar mi vida y ayudarme a ser una gran persona. A mis padres Agustín e Irene, gracias a su enorme esfuerzo, sacrificio, motivación, lucha me brindaron todo su amor en el transcurso de la vida y son de gran ayuda para llegar a ser quien soy ahora.

A mi esposa Michelle que con su gran amor y cariño me motivo a superarme y crecer como una gran persona, un buen profesional y un gran esposo.

A mi tía y mi primo por la compañía y ayuda que cada día me brindaron en todo momento.

A mi abuelita que fué, és y será la más fuerte inspiración en mi vida.

Paúl Alexander Navarrete Cañart

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, a toda la carrera de sistemas, a nuestros docentes ingenieros por su paciencia y dedicación, en especial a nuestro tutor Manuel Rafael Jaya Duche por su valioso conocimiento el cual nos orientó a culminar nuestro trabajo, a nuestros compañeros por los momentos, experiencias y apoyo incondicional que compartimos en el camino de nuestra vida universitaria.

Andrés Jaramillo y Paúl Navarrete

# **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGÍAS LORAWAN Y GSM/GPRS A FIN DE EVALUAR MÉTRICAS COMO EL RENDIMIENTO, CONSUMO DE ENERGÍA Y COBERTURA PARA TRANSMISIONES DE DATOS EN ESCENARIOS IOT.”**

## **“COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN LORAWAN AND GSM / GPRS TECHNOLOGIES IN ORDER TO EVALUATE METRICS SUCH AS PERFORMANCE, ENERGY CONSUMPTION AND COVERAGE FOR DATA TRANSMISSIONS IN IOT SCENARIOS.”**

Andrés Jaramillo<sup>1</sup>, Paúl Navarrete<sup>1</sup>, Rafael Jaya<sup>2</sup>

### **Resumen**

En el presente artículo se analiza la transmisión de datos entre tecnologías LoRa y GSM en un escenario urbano y rural a través de un sistema de monitorización de sensores de humedad y temperatura en el entorno Arduino, con el fin de comparar en base a métricas como el rendimiento el cual se determina mediante el tiempo de envío de paquetes y la cantidad de paquetes recibidos y perdidos, referente a la cobertura se mide a partir de la intensidad de señal y en cuanto al consumo de energía se cuantifica a través de la potencia eléctrica emitida en función del tiempo de envío. Esta información será subida y almacenada en el servidor de la nube. Finalmente se determinan los resultados de las pruebas realizadas donde cada una de las tecnologías se destacan en base a las métricas establecidas, siendo LoRa el que mejor desempeño, con un 27.00 % menor de paquetes perdidos y un 84.65% menor consumo de energía.

**Palabras claves:** *paquetes, transmisión, recepción, servidor, señal, frecuencia, distancia.*

### **Abstract**

This article analyzes the data transmission between LoRa and GSM technologies in an urban and rural setting through a monitoring system of humidity and temperature sensors in the Arduino environment, in order to compare based on metrics such as the performance which is determined by the packet sending time and the number of packets received and lost, regarding coverage is measured from the signal intensity and energy consumption is quantified through the electrical power emitted depending on the shipping time. This information will be uploaded and stored on the cloud server. Finally, the results of the tests carried out are determined where each of the technologies stand out based on the established metrics, with LoRa being the one with the best performance, with 27.00% lower lost packets and 84.65% lower energy consumption.

**Keywords:** *packets, transmission, reception, server, signal, frequency, distance.*

---

<sup>1</sup> Estudiantes de Ingeniería en Sistemas - Universidad Politécnica Salesiana. Egresado - UPS – Sede Quito. Email: [ajaramillo1@est.ups.edu.ec](mailto:ajaramillo1@est.ups.edu.ec), [pnavarretec@est.ups.edu.ec](mailto:pnavarretec@est.ups.edu.ec)

<sup>2</sup> Magister en Redes de Información y Conectividad, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Profesor de Ingeniería en Sistemas UPS sede Quito, Email: [mjaya@ups.edu.ec](mailto:mjaya@ups.edu.ec)

# 1. Introducción

Con el paso del tiempo el constante desarrollo de la tecnología ha logrado mucha importancia para el sector IoT. El internet de las cosas trae el concepto de que cualquier cosa que se pueda imaginar podría ser conectada a través de internet [1], esto quiere decir un mundo en el cual los objetos actúen de forma inteligente y permitan compartir datos mediante el intercambio de información de diferentes sistemas de comunicación.

Progresivamente fueron apareciendo diferentes protocolos de comunicación indispensables para dar cabida a toda esta conexión, como ejemplo tenemos a Zigbee el cual tiene un poco alcance y bajo consumo, a diferencia de WiFi que posee un mayor alcance, pero a su vez mayor consumo y GPRS/3G/LTE con gran alcance y más consumo [2]. Sin embargo, ninguno de estos protocolos solventa el problema de interconectar una gran cantidad de dispositivos, teniendo en cuenta este inconveniente como solución se ha empezado al desarrollo de estándares los cuales ofrecen un bajo consumo energético y un alto rango de cobertura [2], ya que estas características serán fundamentales en un escenario en el que se prevé que una gran cantidad de dispositivos requieran de gran conectividad.

GSM entre las comunicaciones inalámbricas, son el resultado de la modulación de ondas electromagnéticas por medio de un canal [3], existen tres puntos a tomar en cuenta para este tipo de comunicaciones móviles: ¿Qué tipo de información se desea enviar?, ¿Cuál es la distancia a la que se enviará la información?, ¿Cuál es la velocidad de transmisión?, posteriormente GPRS surge como la solución para agilizar la transmisión de datos en GSM [4], aprovechando de mejor manera los recursos y características inicialmente

proporcionadas por GSM mejorando así la conectividad y la portabilidad.

Las redes de comunicaciones por medio del sistema M2M también conocido como el intercambio de información de máquina a máquina (Machine to Machine) han sido la primordial apuesta por IoT a causa de las grandes organizaciones del sector de las telecomunicaciones [5]. La interconexión por máquina a máquina se ha derivado del modelo de comercio de GPRS esto significa que estará vinculada a la tarjeta SIM el cual tendrá un coste por transmitir datos y la cobertura asociada a un operador, como las tecnologías 3G y 4G [6]. La red M2M actualmente es la más comercializada en el planeta para IoT.

Una de las tecnologías idóneas de soportar multitud de dispositivos en el entorno IoT son las LPWAN (Low Power Wide Area Networks) [7], esta tecnología se la caracteriza por ofrecer un largo alcance de cobertura, optimizar un bajo consumo de energía y un bajo coste de producción a cambio de una frecuencia menor de transmisión de datos [8], de esta manera convirtiéndolo en un estándar adecuado para el IoT.

La red LoRa es una implementación del protocolo LPWAN que usa la tecnología lora la cual fue desarrollada sin ánimo de lucro y está diseñada para usar una topología de estrella amplia [9], donde los nodos se conectan a gateways y estas paralelamente se comunican por medio de redes IP con el propósito de ofrecer conectividad inalámbrica a varios dispositivos de baja potencia en grandes zonas [10]. LoRa se enfoca principalmente en su gran cobertura, bajo coste y consumo de energía.

En este artículo, para realizar el análisis de esta comparativa, se desarrollará una serie de simulaciones e implementará el escenario de investigación propuesto que integre las

tecnologías LoRa y GSM/GPRS, para evaluar el funcionamiento del control de temperatura en zonas rurales y urbanas, a través de las métricas establecidas; cobertura, consumo de energía y rendimiento. Con el objetivo de determinar cuál tecnología se desempeña de mejor manera en el sector IoT.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Materiales

- Módulos TTGO LORA OLED V2.0 ESP32 868 MHZ.
- Módulos SIM 800L EVB.
- Módulos Arduino uno.
- Sensores de temperatura y humedad DHT11.
- Cables USB tipo A Y B.
- Protoboard.
- Cables jumper.
- Sim 3G.
- Fuentes de alimentación

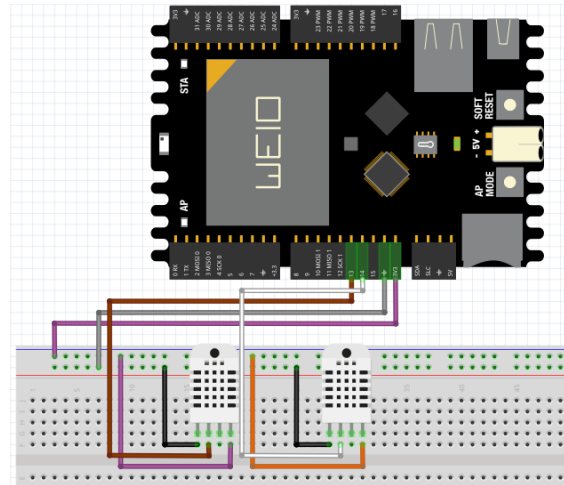
### 2.2 Arquitectura

En este proyecto IoT, para realizar la monitorización de lectura de los sensores de forma inalámbrica, se utilizó un módulo transmisor el cual enviará paquetes de datos obtenidos por los sensores de humedad y temperatura hacia el módulo receptor, para que al recibir estos valores sean subidos y almacenados al servidor de la nube, los componentes del prototipo son:

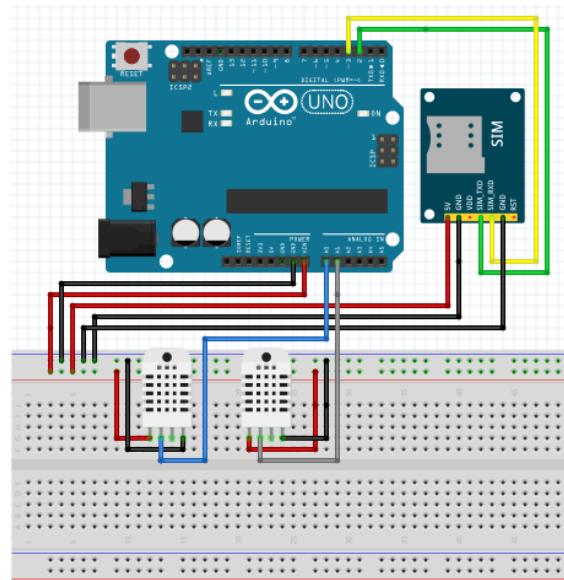
**Sensor:** Mediante el sensor DHT11 se obtienen las mediciones de humedad y temperatura en un intervalo de tiempo de un segundo.

**Nodo transmisor:** Para el escenario con tecnología LoRa se usa un módulo transmisor LoRa TTGO SX1276, el cual transmite los datos a través de LoRa Radio al módulo receptor, a diferencia del escenario GSM este utilizará un módulo SIM 800L EVB para transmitir datos por medio de mensajes de texto al receptor. El bosquejo del nodo

transmisor LoRa se muestra en la figura 1 y del transmisor GSM en la figura 2.



**Figura 1.** Bosquejo del Transmisor LoRa

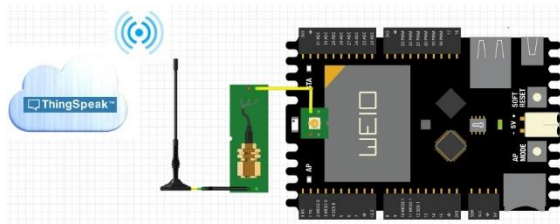


**Figura 2.** Bosquejo del Transmisor GSM

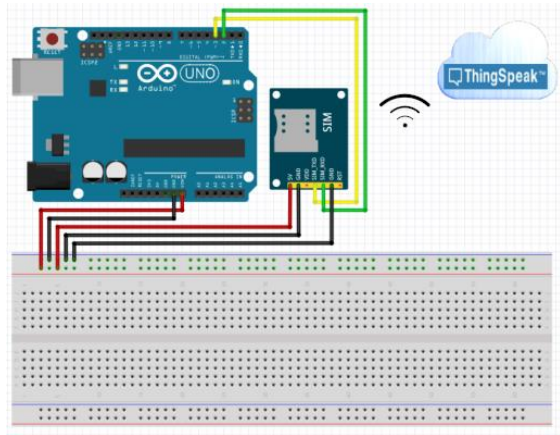
**Nodo receptor:** Contiene las mismas características que el nodo transmisor y trabaja en función de puerta de enlace para recibir los datos transmitidos y subirlos al servidor de la nube después de cierto intervalo de tiempo. El bosquejo del nodo receptor LoRa se muestra en la figura 3 y del receptor GSM en la figura 4.

**Servidor en la nube:** La plataforma de IoT conocida como ThingSpeak permite visualizar mediante gráficas y almacenar los datos de sensores enviados desde la puerta de enlace.





**Figura 3.** Bosque del Receptor LoRa



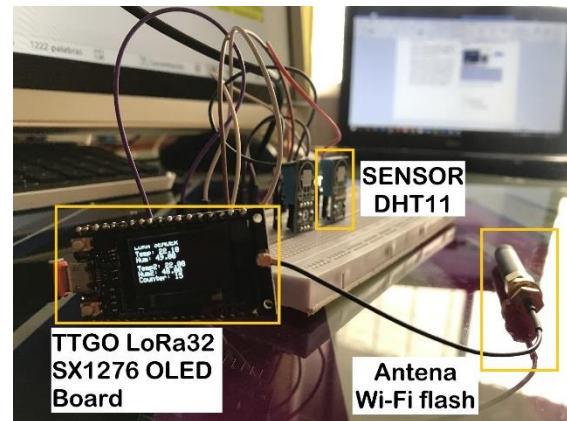
**Figura 4.** Bosquejo del Receptor GSM

## 2.3 Implementación

Para realizar la simulación del escenario practico se emplea una metodología descriptiva [11], donde se especificarán cada una de las etapas del diseño para desarrollar el sistema de monitorización de sensores tanto a nivel de hardware como software. De esta forma, se empieza por la selección de los sensores y módulos, continuando con el proceso de armar el prototipo y codificar los scripts a fin de obtener la lectura de los sensores y enviar estos datos al servidor en la nube.

### 2.3.1 Transmisor LoRa

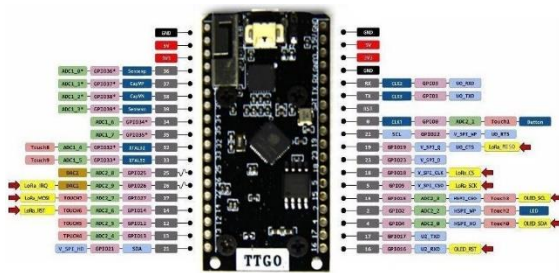
La principal función del transmisor LoRa es enviar las lecturas del sensor DHT11 a través de la radio LoRa al receptor LoRa o puerta de enlace. El módulo TTGO LoRa32 es una placa de desarrollo ESP32 con un chip LoRa que se utiliza como controlador principal para el nodo [12]. El prototipo del nodo transmisor se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Prototipo Transmisor LoRa y Sensores DHT11

En cuanto al montaje del prototipo se utilizó la placa TTGO Lora32 SX1276 OLED que contiene el chip SX1276 LoRa y una pantalla OLED SSD1306, que están conectados internamente al módulo ESP32 [12]. Esta placa además cuenta con algunos GPIO que se utilizan para conectar periféricos y obtener las lecturas de los sensores, también usa una interfaz CP2102 y un chip de serie USB por lo cual es simple cargar el código, se requiere utilizar un cable USB para conectar a su PC y subir el código, además, esta placa se puede alimentar por medio de un cable USB o una batería de litio ya que viene integrado un cabezal JST de 2 pines y un circuito de carga de batería de litio, por otra parte, dispone de dos botones, un RST para reiniciar la placa y el PRG para situar la placa en modo intermitente [13]. Por último, se conecta la antena al conector IPEX para utilizar la placa, debido a que si no se usa la antena puede estropear la placa.

Como primer paso, se procede a soldar las dos filas de pines para utilizar las GPIO con el fin de escoger correctamente los pines para obtener la salida de datos de los sensores al momento de programarlos, la figura 6, muestra la estructura de los pines de la placa OLED TTGO LoRa 32.



**Figura 6.** Distribución de pines placa OLED TTGO LoRa32 SX1276

Después de realizar la soldadura de los pines, sigue la programación de la placa TTGO LoRa32. Se empleará el software Arduino IDE, donde se procede a descargar e instalar las librerías para la placa ESP32, pantalla OLED, sensores y el chip LoRa.

Este proyecto utiliza cuatro librerías: Adafruit\_SSD1303 y Adafruit\_GFX para controlar la pantalla OLED, “ESP32 by Espressif Systems” para instalar la placa ESP32, “LoRa by Sandeep Mistry” para la transmisión y recepción de paquetes, DHT y Adafruit Unified Sensor para leer los datos de los sensores [14]. Estas librerías serán descargadas e incluidas al código.

Se definen los pines, los cuales serán muy importantes para realizar la comunicación entre el módulo transmisor y receptor.

Las pantallas OLED están conectadas internamente al ESP32 en los siguientes pines como se puede visualizar en la tabla 1 y se comunican a través del protocolo de comunicación I2C.

**Tabla 1.** Configuración de pines de pantalla OLED

OLED	ESP32
SDA	GPIO 4
SCL	GPIO 15
RST	GPIO 16

El transceptor SX1276 LoRa está conectado a los siguientes pines como se puede visualizar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Configuración de pines del chip LoRa

SX1276 LoRa	ESP32
MISO	GPIO 19
MOSI	GPIO 27
SCK	GPIO 5
CS	GPIO 18
DIO0	GPIO 26
RST	GPIO 14

El sensor DHT11 viene integrado con tres pines como se puede visualizar en la tabla 3, los cuales estarán conectados a la placa ESP32.

**Tabla 3.** Configuración de pines del sensor DHT11

DHT Pines	ESP32
1	3,3 V
2	GPIO (Se puede utilizar cualquier GPIO digital)
3	GND

Después de definir la banda de frecuencia, se escoge la más cercana a nuestro país como se puede visualizar en la tabla 4, en este caso la zona más cercana a Ecuador es la región de Norte América la cual trabaja en el rango de 915 MHz [15]. Cabe recalcar que la tecnología LoRa trabaja en diferentes frecuencias y al ser una comunicación de radio frecuencia no requiere de licencias debido a que usa el espectro de la banda de radio ISM [16].

**Tabla 4.** Frecuencia de trabajo de la banda LoRa

Región	Frecuencia
Asia	433 MHz
Europa	866 MHz
Norte América	915 MHz

## 2.3.2 Receptor LoRa

La función principal del nodo receptor es recibir los datos de los sensores enviados por el transmisor y trabajar como puerta de enlace para mandar los datos a la nube como se puede observar en la figura 7. Para visualizar los datos recibidos se utilizará la plataforma ThingSpeak la cual es un API de

TTN que permite recoger y almacenar datos para analizarlos y visualizarlos.

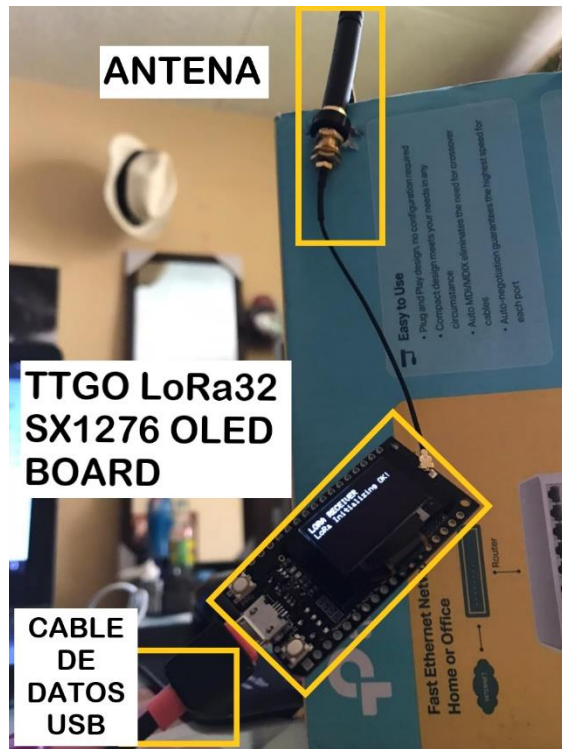


Figura 7. Prototipo Receptor LoRa

El módulo receptor se configura con parámetros idénticos al nodo transmisor como la banda de frecuencia, chip LoRa, librerías y sensores, pero a diferencia del remitente se incluye la librería “Wifi” la cual permite que el módulo se conecte a una red inalámbrica y suban los valores de humedad y temperatura al servidor. Cabe recalcar que de los paquetes LoRa recibidos, se obtiene el tiempo de recepción y el RSSI de cada uno.

Al utilizar el servidor ThingSpeak, existe la posibilidad de monitorear los datos por medio de internet, así que de esta forma será más fácil visualizar la información mediante gráficos como en la figura 8 y exportarlos a Excel para llevar un control de la información.

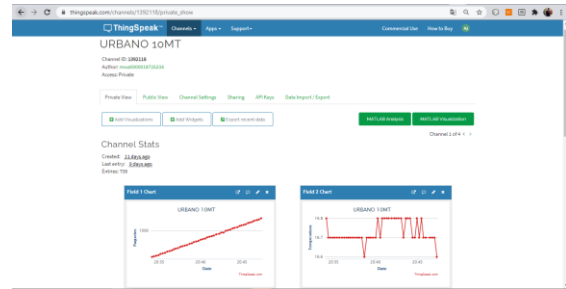


Figura 8. Página del servidor web ThingSpeak

### 2.3.3 Transmisor GSM/GPRS

Para el nodo transmisor GSM/GPRS se usa el módulo SIM 800L EVB que irá conectada a un Arduino Uno, el cual recibirá los datos de temperatura y humedad de los sensores DHT11 y enviará los datos mediante SMS en un formato establecido anteriormente (“número de paquete, temperatura 1, humedad 1, temperatura 2, humedad 2”), a través de un microsim colocado en el módulo SIM 800L que actuará como controlador principal en el escenario planteado. El prototipo del nodo transmisor GSM/GPRS se muestra en la figura 9.

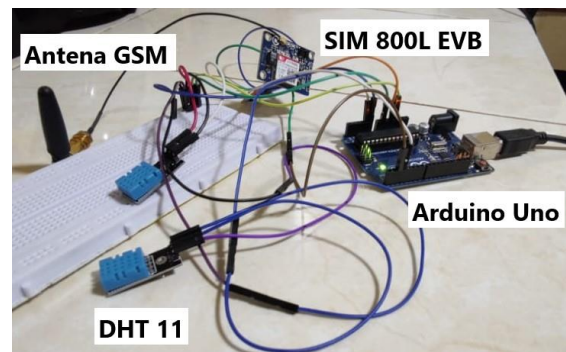


Figura 9. Prototipo Transmisor GSM y sensores DHT11

El módulo SIM 800L EVB y los sensores DHT11 se encuentran conectados al Arduino Uno para recibir la energía proveniente de la fuente de alimentación.

La placa Arduino se encuentra conectado con el computador a través de un cable USB tipo A, y se encuentra alimentado por medio de una fuente de 12 [V], ya que la energía que brinda el computador a través del USB tipo A no es suficiente para alimentar



completamente al SIM 800L EVB y obtener una señal del operador de red móvil.

Las conexiones de los pines entre el Arduino Genuino Uno y el SIM800L EVB se encuentran en la tabla 5:

**Tabla 5.** Configuración de pines del Transmisor SIM 800L y Arduino

Arduino Genuino Uno	SIM 800L EVB
5 V Pin	5 Vin Pin
Protoboard – GND	GND
Digital 2 Pin	TX Pin
Digital 3 Pin	RX Pin

En cambio, las conexiones entre el Arduino Genuino Uno y los sensores DHT11 se visualizan en la tabla 6 y 7:

**Tabla 6.** Configuración de pines del primer sensor DHT11 y Arduino

Arduino Genuino Uno	Sensor 1 DHT11
Analog In A0	Out – Pin
Protoboard – GND	GND – Pin
Protoboard – VIN	VIN – Pin

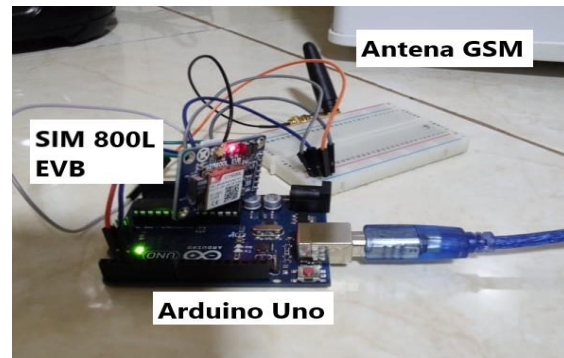
**Tabla 7.** Configuración de pines del segundo sensor DHT11 y Arduino

Arduino Genuino Uno	Sensor 2 DHT11
Analog In A1	Out – Pin
Protoboard – GND	GND – Pin
Protoboard – VIN	VIN – Pin

### 2.3.4 Receptor GSM/GPRS

Para el nodo receptor GSM/GPRS se emplea el módulo SIM 800L EVB que ira conectada a un Arduino Uno, en el cual el módulo SIM trabaja en modo receptor de mensajes como se visualiza en la figura 10, ya que transformará los mensajes recibidos del módulo transmisor en un formato establecido “Paquete, Temperatura 1, Humedad 1, Temperatura 2, Humedad 2”, y de esta manera mediante la red Wifi le permitirá conectarse a internet y subir los datos a ThingSpeak en tiempo real y verificar los datos recibidos en la plataforma.

El prototipo del nodo receptor SIM800L EVB es el siguiente:



**Figura 10.** Prototipo Receptor GSM/GPRS

Las conexiones de los pines entre el Arduino Genuino Uno y el SIM800L EVB se encuentran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Configuración de pines del Receptor SIM 800L y Arduino

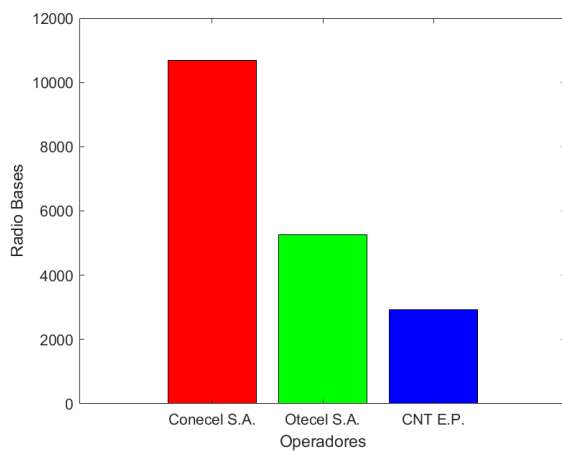
Arduino Genuino Uno	SIM 800L EVB
5 V Pin	5 Vin Pin
Protoboard – GND	GND
Digital 2 Pin	TX Pin
Digital 3 Pin	RX Pin

El módulo SIM 800L EVB utiliza un Micro SIM para elegir por cual operadora realizar la transmisión y recepción de paquetes. Por lo tanto, se realizó un análisis de varios parámetros importantes en las comunicaciones móviles, como las bandas de frecuencias que trabaja el SIM800L EVB y las bandas de las principales operadoras a nivel nacional.

El módulo SIM800L EVB trabaja bajo las frecuencias 800, 900, 1800, 1900 MHz, pero para GSM normalmente utiliza la banda de 800 [MHz] [17], la versión EVB se alimenta energéticamente de 3,3 a 5 [V], por lo cual no es suficiente la energía que suministra el computador por medio del USB tipo A del Arduino Genuino Uno. Cabe recalcar que los datos se transmiten mediante comandos AT por serial UART [5].

En cuanto a las operadoras de redes móviles, la Arcotel es la agencia de

regulación y control que se encarga de regular y controlar las telecomunicaciones a nivel nacional. En el último informe presentado en mayo del 2020 se puede revisar que uno de los mayores aspectos a tomar en cuenta para seleccionar el mejor operador del país, es la cobertura, y según el informe de la Arcotel [18] del 2008 al 2020 las radio bases implementadas a nivel nacional por cada una de las operadoras se muestra que: CONECCEL S.A. instaló 10681 radio bases, OTECEL S.A. instaló 5253 radio bases, CNT E.P. instaló 2923 radio bases.



**Figura 11.** Radio Bases de las principales operadoras, instalados desde mayo del 2008 hasta mayo del 2020

En base a esta información se puede observar que Conecel S.A. “Claro” instaló un 103,33 % más de Radio bases en comparación a OTECEL S.A. “Movistar” y un 265,41 % más de radio bases en comparación a CNT E.P. a nivel nacional, en lo cual se evidencia una amplia cobertura a nivel nacional de parte de Conecel S.A. “Claro”, que a nivel nacional la cobertura GSM/GPRS que tiene se muestra en la figura 11, por ende se seleccionó Claro tanto para el emisor como para el receptor en el MicroSim de los módulos SIM800L EVB.

### 3. Evaluaciones Métricas

Para plantear la comparativa entre las tecnologías GSM/GPRS y LoRa en la zona urbana y rural, se estableció el uso de las siguientes métricas: rendimiento, cobertura y

consumo de energía a diferentes distancias con el fin de evaluar la transmisión de datos entre ellas. Esta comparativa realizó las pruebas de ambas tecnologías a la par.

#### 3.1 Rendimiento

Para determinar el rendimiento como primera métrica, se toma en cuenta: la media aritmética del tiempo de envío de los paquetes, el tiempo total de envío y el total de paquetes recibidos y perdidos. Por medio de la siguiente formula se calcula la media aritmética  $X = \sum X_i / n$  [19].

Estas pruebas se realizan a una distancia de 10, 50 y 100 metros en el área urbana y rural.

#### 3.2 Cobertura

Para medir la cobertura se realizó mediante la siguiente fórmula,  $RSSI [dBm] = -10 \log_{10} d + A [dBm]$  [20].

En LoRa se obtiene el RSSI [dB] durante la recepción de paquetes, mediante el indicador de fuerza de señal recibida trabaja en el rango de 0 [dB] a -120 [dB], donde el valor 0 [dB] equivale a una señal ideal y el valor -120 [dB] es una señal débil [21]. En el caso de GSM/GPRS mediante el comando AT+CSQ, se obtiene la calidad de la señal que tiene un rango de 0 CSQ a 31 CSQ en donde 0 representa -113 [dB] y 31 equivale a -51 [dB], aumentando cada nivel en 2 [dB] [22].

#### 3.3 Consumo de Energía

Para medir el consumo de energía nos basamos mediante la fórmula  $W = P * T$  donde la energía es igual a la potencia eléctrica por unidad de tiempo, de esta forma se determina la energía necesaria para transmitir en los dispositivos LoRa [23]. Para obtener los valores de la potencia eléctrica se midió con un multímetro el voltaje y corriente continua del módulo LoRa y GSM/GPRS.

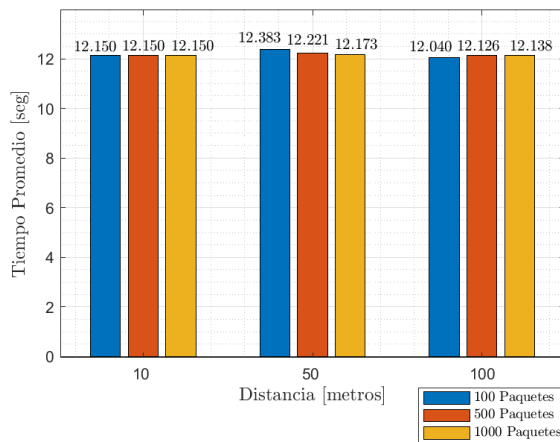
## 4. Resultados y Discusión

En base a las pruebas realizadas de la transmisión y recepción entre las dos tecnologías y las métricas establecidas, tomando en cuenta las distancias y el tipo de zona rural y urbana, además se realizó el análisis de resultados y comparativa para determinar cuál tecnología se desempeña de mejor forma en un escenario IoT. De esta manera se obtienen los siguientes resultados:

Respecto al escenario LoRa la tabla 9, indica el tiempo promedio de envío de 100, 500 y 1000 paquetes entre el transmisor y receptor a una distancia de 10, 50 y 100 metros en la zona urbana.

**Tabla 9.** Datos del tiempo promedio de envío de paquetes LoRa - Zona Urbana

Distancia [metros]	Tiempo promedio [seg] 100 pq	Tiempo promedio [seg] 500 pq	Tiempo promedio [seg] 1000 pq
10	12.150	12.150	12.150
50	12.383	12.221	12.173
100	12.040	12.126	12.138



**Figura 12.** Tiempo promedio de envío de 100, 500, 1000 paquetes LoRa - Zona Urbana

En cuanto a la primera métrica la cual es el rendimiento, se puede observar en la figura 12, que el tiempo promedio de envío de 100 paquetes a una distancia de 100 metros es 0.91% menor que la distancia de 10 metros y es 2.77% menor que la distancia de 50

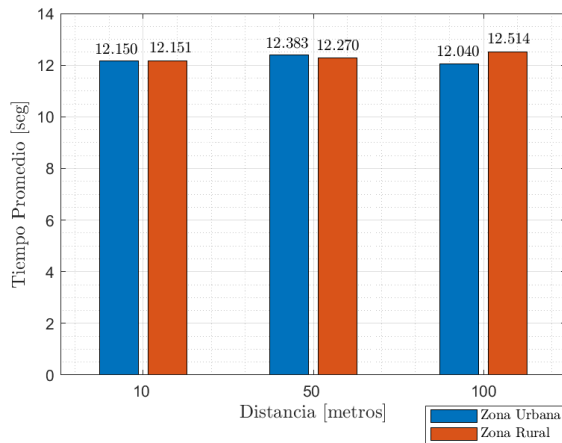
metros. En cambio, para el tiempo promedio de envío de 500 paquetes a una distancia de 100 metros es 0.20% menor que la distancia de 10 metros y es 0.78% menor que la distancia de 50 metros. Así como para el tiempo promedio de envío de 1000 paquetes a una distancia de 100 metros es 0.10% menor que la distancia de 10 metros y es 0.29% menor que la distancia de 50 metros.

La transmisión en LoRa de 100 paquetes a una distancia de 10 metros presentó una desviación estándar de 4,25 segundos, a 50 metros la desviación estándar es de 7,50 segundos y en 100 metros la desviación estándar es de 10,26 segundos. En 500 paquetes la desviación estándar a 10 metros es de 4,45 segundos, en 50 metros la desviación estándar es de 9,33 segundos y en 100 metros su desviación estándar es de 9,81 segundos. Al final en el envío de 1000 paquetes la desviación estándar de 10 metros es de 5,00 segundos, mientras que a 50 metros su desviación estándar es de 9,33 segundos y a una distancia de 100 metros su desviación estándar es de 9,51 segundos.

La tabla 10, compara el tiempo promedio de envío de 100 paquetes a distancias de 10, 50 y 100 metros entre la zona urbana y rural.

**Tabla 10.** Datos de tiempo promedio de envío de 100 paquetes LoRa entre la Zona Urbana y la Zona Rural

Distancia [metros]	Zona Urbana Tiempo promedio [seg] 100 paquetes	Zona Rural Tiempo promedio [seg] 100 paquetes
10	12.150	12.151
50	12.383	12.270
100	12.040	12.514



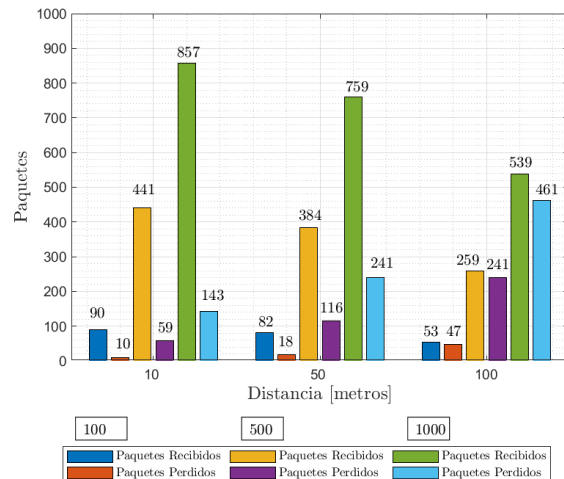
**Figura 13.** Comparativa de tiempo de envío promedio LoRa de 100 paquetes entre Zona Urbana y Zona Rural

Se puede observar en la figura 13, que el tiempo promedio de envío de 100 paquetes a una distancia de 10 metros en la zona urbana es menor en un 0.01% a la zona rural, en donde la zona urbana presentó una desviación estándar de 4,25 segundos y la zona rural presentó una desviación estándar de 18,70 segundos. Mientras que a una distancia de 50 metros la zona rural es 0.91% inferior a la zona urbana, en donde la zona rural tiene una desviación estándar de 29,28 segundo a diferencia de la zona urbana que presenta una desviación estándar de 7,50 segundos. Por último, a una distancia de 100 metros en la zona urbana se presenta una disminución de un 3.79% en comparación a la zona rural, aquí la desviación estándar de la zona urbana es de 10,26 segundos mientras que la zona rural tiene una desviación estándar de 31,08 segundos.

Respecto a la tabla 11, se aprecia la cantidad de paquetes recibidos y perdidos a distancias de 10, 50 y 100 metros en la zona urbana.

**Tabla 11.** Datos de paquetes enviados y paquetes recibidos LoRa a diferentes distancias en la Zona Urbana.

D [m]	PR 100 pq	PP 100 pq	PR 500 pq	PP 500 pq	PR 1000 pq	PP 1000 pq
10	90	10	441	59	857	143
50	82	18	384	116	759	241
100	53	47	259	241	539	461



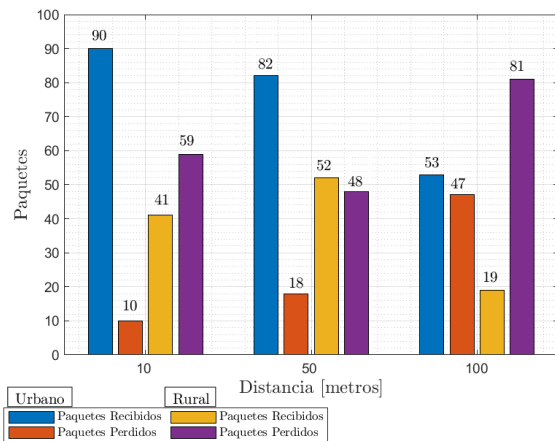
**Figura 14.** Paquetes recibidos y paquetes perdidos LoRa a diferentes distancias en la Zona Urbana

Como se puede visualizar en la figura 14, en 100 paquetes a una distancia de 10 metros se obtiene un 44.44% menos de paquetes perdidos que a una distancia de 50 metros y un 78.72% menos de paquetes perdidos a 100 metros. Mientras que en 500 paquetes a una distancia de 10 metros se obtiene un 49.14% menos de paquetes perdidos que a una distancia de 50 metros y un 75.52% menos de paquetes perdidos a 100 metros. Así como en 1000 paquetes a una distancia de 10 metros se obtiene un 40.66% menos de paquetes perdidos que a una distancia de 50 metros y un 68.98% menos de paquetes perdidos a 100 metros.

En la tabla 12, se comparará la cantidad de paquetes recibidos y perdidos en la zona urbana y rural.

**Tabla 12.** Datos comparativos de paquetes recibidos y paquetes perdidos de LoRa entre la Zona Urbana y Zona Rural

D [m]	Zona Urbana PR 100pq	Zona Urbana PP 100pq	Zona Rural PR 100pq	Zona Rural PP 100pq
10	90	10	41	59
50	82	18	52	48
100	53	47	19	81



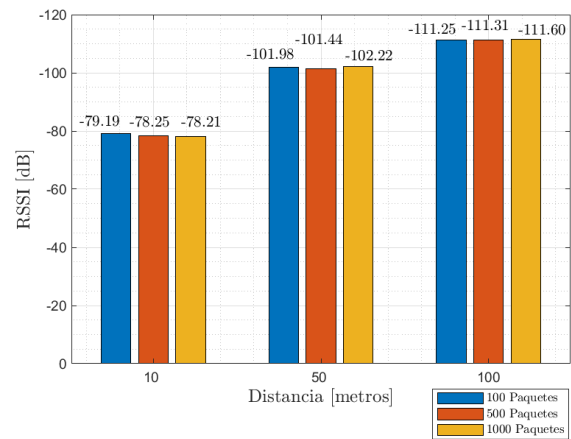
**Figura 15.** Comparativa LoRa de 100 paquetes recibidos y paquetes perdidos a diferentes distancias entre la Zona Urbana y la Zona Rural

Se analiza que en la figura 15, al enviar 100 paquetes a una distancia de 10 metros la zona urbana tiene un 83.05% menos de paquetes perdidos que la zona rural, mientras que a 50 metros la zona urbana es 62.5% menos de paquetes perdidos que la zona rural, en cambio a una distancia de 100 metros la zona urbana es 41.98% menos de paquetes perdidos que la zona rural.

Como segunda métrica establecida se encuentra la cobertura, la cual se mide en base al RSSI en función de la distancia y los paquetes recibidos en la zona urbana. Estos valores se visualizan en la tabla 13.

**Tabla 13.** Datos de Cobertura RSSI Promedio en Zona Urbana.

D [m]	RSSI promedio 100pq	RSSI promedio 500pq	RSSI promedio 1000pq
10	-79.19	-78.25	-78.21
50	-101.98	-101.44	-102.22
100	-111.25	-111.31	-111.60



**Figura 16.** RSSI Promedio LoRa en la Zona Urbana

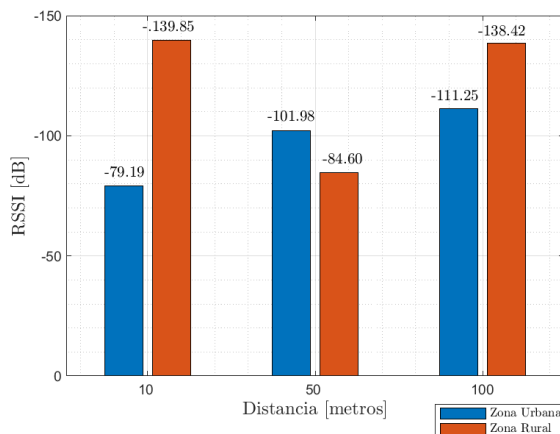
Se puede apreciar en la figura 16, que al recibir 100 paquetes a una distancia de 10 metros el RSSI es 22.35% menor que a una distancia de 50 metros y un 28.82% inferior a 100 metros, por otra parte, a 10 metros presenta una desviación estándar de 1,61 dB, en 50 metros la desviación estándar es de 1,56 dB y en 100 metros la desviación estándar es de 2,60 dB. Mientras que 500 paquetes a una distancia de 10 metros el RSSI es 22.86% menor que a una distancia de 50 metros y un 29.70% a 100 metros, en donde la desviación estándar a 10 metros es de 1,67 dB, en una distancia de 50 metros la desviación estándar es de 1,15 dB y a una distancia de 100 metros la desviación estándar es de 1,42 dB. En cambio 1000 paquetes a una distancia de 10 metros el RSSI es 23.49% menor que a una distancia de 50 metros y un 29.22% inferior a 100 metros, en donde a una distancia de 10 metros la desviación estándar es de 1,54 dB, en 50 metros la desviación estándar es de 1,23 dB y a 100 metros la desviación estándar es de 1,37 dB.

En la tabla 14, se procede a comparar los valores que se obtienen del RSSI entre la zona urbana y rural.



**Tabla 14.** Datos de Comparativa del RSSI en LoRa de 100 paquetes entre la Zona Urbana y Rural

Distancia [metros]	Zona Urbana RSSI promedio 100pq	Zona Rural RSSI promedio 100pq
10	-79.19	-139.85
50	-101.98	-84.60
100	-111.25	138.42



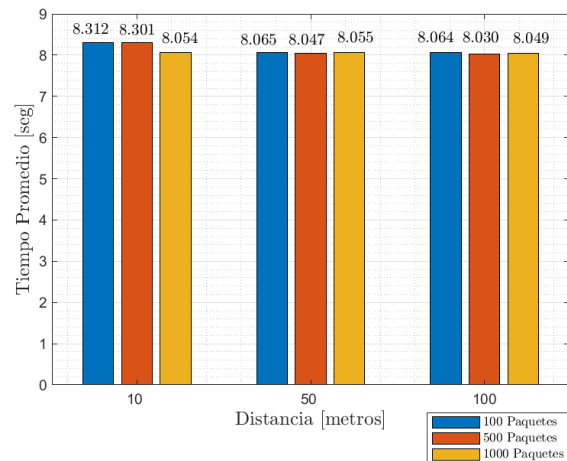
**Figura 17.** Comparativa de RSSI en tecnología LoRa entre la zona Urbana y la zona Rural

Como se puede visualizar en la figura 17, al recibir 100 paquetes a una distancia de 10 metros en la zona urbana el RSSI es 43.38% menor que la zona rural, en donde el RSSI de la zona rural tiene una desviación estándar de 5,96 dB y la zona urbana presenta una desviación estándar de 1,61 dB. Mientras que a una distancia de 50 metros en la zona rural el RSSI es 17.04% menor que la zona urbana, en donde la desviación estándar de la zona rural es de 12,61 dB y la zona urbana tiene una desviación estándar de 1,56 dB. A una distancia de 100 metros en la zona urbana el RSSI es 19.63% menor que la zona rural, aquí la desviación estándar de la zona rural es de 9,56 dB y en la zona urbana la desviación estándar es de 2,60 dB.

Para el escenario GSM/GPRS la tabla 15, muestra el tiempo promedio de envío de 100, 500 y 1000 paquetes completos entre el nodo transmisor hacia el nodo receptor con el módulo SIM 800L EVB a distancias de 10,50 y 100 metros en zona urbana.

**Tabla 15.** Datos de tiempo promedio de envío de paquetes GSM/GPRS – Zona Urbana.

Distancia [metros]	Tiempo promedio [seg] 100 paquetes	Tiempo promedio [seg] 500 paquetes	Tiempo promedio [seg] 1000 paquetes
10	8.312	8.301	8.054
50	8.065	8.047	8.055
100	8.064	8.030	8.049



**Figura 18.** Tiempo promedio de envío de 100, 500, 1000 paquetes GSM/GPRS - Zona Urbana.

Se puede observar en la figura 18, que el tiempo promedio de envío de 100 paquetes a una distancia de 10 metros es 2,97% superior al de 50 metros y 3,08% superior al de 100 metros, mientras que el tiempo promedio de envío de 500 paquetes a una distancia de 10 metros es 3,16% superior al de 50 metros y 3,37% superior al de 100 metros, en cambio el tiempo promedio de envío de 1000 paquetes a una distancia de 10 metros es 0,01% inferior al de 50 metros y 0,06% superior al de 100 metros, todo esto dentro de la Zona Urbana.

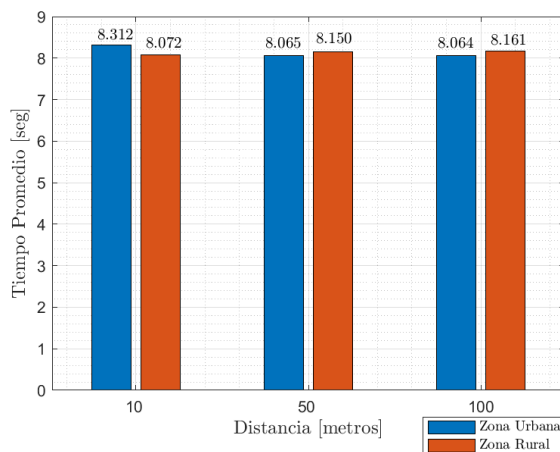
En una distancia de 10 metros en 100 paquetes la desviación estándar es de 5,44 segundos, en una distancia de 50 metros la desviación estándar es de 4,04 segundos y a una distancia de 100 metros la desviación estándar es de 5,08 segundos. En el envío de 500 paquetes la desviación estándar a 10 metros es de 4,07 segundos, a 50 metros la desviación estándar es de 5,18 segundos y a

una distancia de 100 metros su desviación estándar es de 5,91 segundos. Por último, en la transmisión de 1000 paquetes a 10 metros presentó una desviación estándar de 6,23 segundos, mientras que a una distancia de 50 metros la desviación estándar es de 3,98 segundos y a una distancia de 100 metros su desviación estándar es de 5,92 segundos.

La tabla 16, muestra el tiempo promedio de envío de paquetes de GSM/GPRS con 100 paquetes y a una distancia de 10, 50 y 100 metros tanto para Zona Urbana como para Zona Rural.

**Tabla 16.** Datos de tiempo promedio de envío de 100 paquetes LoRa entre la Zona Urbana y la Zona Rural

Distancia [metros]	Zona Urbana Tiempo promedio [seg] 100 paquetes	Zona Rural Tiempo promedio [seg] 100 paquetes
10	8.312	8.072
50	8.065	8.150
100	8.064	8.161



**Figura 19.** Comparativa de tiempo de envío promedio GSM/GPRS de 100 paquetes entre Zona Urbana y Zona Rural.

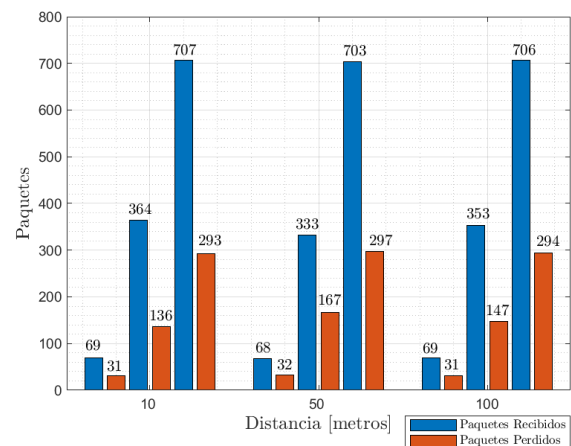
En la figura 19, la diferencia existente en el tiempo promedio de envío de 100 paquetes GSM/GPRS a una distancia de 10 metros la Zona Rural es 2,89 % inferior al tiempo de la Zona Urbana, en donde la zona rural presentó una desviación estándar de 17,63 segundos a diferencia de la zona urbana que tiene una desviación estándar de 5,44 segundos.

Mientras que a una distancia de 50 metros la Zona Urbana es 1,04 % inferior al tiempo en la Zona Rural, con una desviación estándar en la zona urbana de 4,04 segundos y la zona rural una desviación estándar de 27,34 segundos. En cambio, a una distancia de 100 metros la Zona Urbana presenta una inferioridad de 1,19 % en comparación con el tiempo de la Zona Rural, donde la zona urbana tiene una desviación estándar de 48,00 y la zona urbana tiene una desviación estándar de 5,08 segundos.

En cuanto a la cantidad de paquetes enviados y recibidos a diferentes distancias en la zona urbana, se pueden observar los datos en la tabla 17.

**Tabla 17.** Datos de paquetes recibidos y paquetes perdidos GSM a cada una de las distancias en Zona Urbana

D [m]	PR 100	PP 100	PR 500	PP 500	PR 1000	PP 1000
	pq	pq	pq	pq	pq	pq
10	69	31	364	136	707	293
50	68	32	333	167	703	297
100	69	31	353	147	706	294



**Figura 20.** Paquetes recibidos y paquetes perdidos GSM/GPRS a diferentes distancias en Zona Urbana.

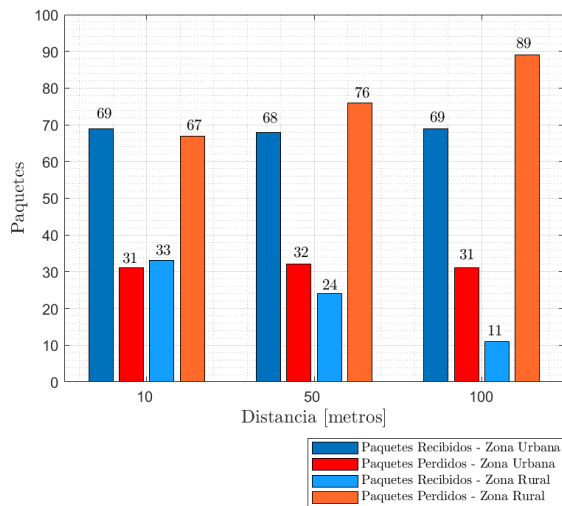
Se puede analizar claramente la figura 20, que en 100 paquetes a una distancia de 10 y 100 metros la cantidad de paquetes perdidos es similar, mientras que ambas tienen un 3,13% menos de pérdidas de paquetes a comparación de la distancia de 50 metros. Por otra parte, 500 paquetes a una

distancia de 10 metros tienen un 18,56 % menos de paquetes perdidos que a una distancia de 50 metros, mientras que un 7,48 % menos de paquetes perdidos en 100 metros. En cambio, en el caso del envío de 1000 paquetes se puede visualizar que en una distancia de 10 metros presenta un 1,35 % menos de paquetes perdidos que la distancia de 50 metros, y un 0,34 % menos de paquetes perdidos en 100 metros.

Para la comparación de paquetes recibidos y perdidos en la zona urbana y rural se visualiza en la tabla 18.

**Tabla 18.** Datos comparativos de paquetes recibidos y paquetes perdidos de GSM/GPRS entre Zona Urbana y Zona Rural.

D [m]	Zona Urbana PR 100pq	Zona Urbana PP 100pq	Zona Rural PR 100pq	Zona Rural PP 100pq
10	69	31	33	67
50	68	32	24	76
100	69	31	11	89



**Figura 21.** Comparativa GSM/GPRS de 100 paquetes recibidos y paquetes perdidos a 10, 50 y 100 metros entre la Zona Urbana y la Zona Rural.

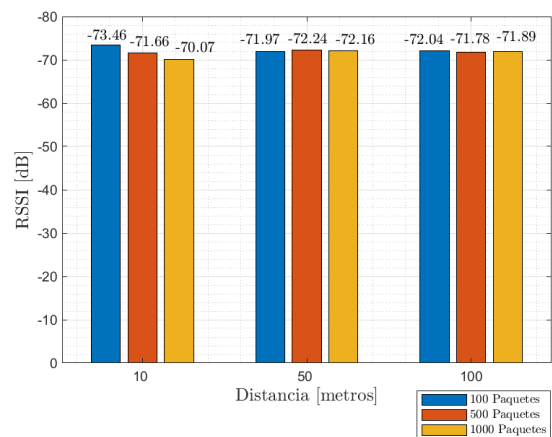
Para continuar evaluando el rendimiento de GSM/GPRS entre Zona Urbana y Rural se puede observar la Figura 21, que en 10 metros el escenario en zona urbana tiene el 31% de pérdidas de paquetes mientras que en la zona rural a la misma distancia tiene un 67% de pérdidas de paquetes, en cambio a

una distancia 50 metros la zona urbana tiene el 32% de pérdidas de paquetes mientras que en la zona rural a la misma distancia posee el 76% de pérdidas de paquetes y por ultimo a una distancia de 100 metros la zona urbana tiene el 31% de pérdidas de paquetes mientras que la zona rural posee el 89 % de pérdidas de paquetes. Esto significa que a una distancia de 10 metros la Zona Urbana presento un 53,73 % menos de pérdida de paquetes, a 50 metros la Zona Urbana presento un 57,89 % inferior en pérdidas de paquetes y a 100 metros la Zona Urbana mostro un 65,17 % menos de pérdidas de paquetes.

Referente a la cobertura la tabla 19, se visualiza el RSSI para cada cantidad de paquetes a una distancia de 10, 50 y 100 metros, en la Zona Urbana con los siguientes datos:

**Tabla 19.** Datos de Cobertura RSSI Promedio en Zona Urbana.

D [m]	RSSI promedio 100pq	RSSI promedio 500pq	RSSI promedio 1000pq
10	-73.46	-71.66	-70.07
50	-71.97	-72.24	-72.16
100	-72.04	-71.78	-71.89



**Figura 22.** RSSI Promedio GSM/GPRS en la Zona Urbana.

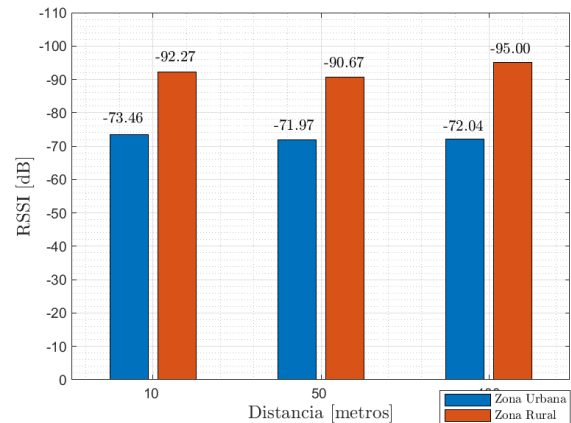
Se puede visualizar en la figura 22 que en 100 paquetes el RSSI de 50 metros tiene mejor potencia de señal y es un 2,03% superior al de 10 metros y un 4,84% superior

al de 100 metros, aquí el RSSI presenta una desviación estándar a 10 metros de 5,52 dB, a 50 metros tiene una desviación estándar de 4,40 dB y a 100 metros presenta una desviación estándar de 4,72 dB. Mientras que en 500 paquetes el RSSI a una distancia de 50 metros es superior en un 0,81% al de 10 metros y un 0,64 % superior al de 100 metros, en donde la desviación estándar a 10 metros es de 4,82 dB, a una distancia de 50 metros la desviación estándar es de 4,80 dB y a una distancia de 100 metros la desviación estándar es de 4,46 dB. En cambio, en 1000 paquetes el RSSI a una distancia de 50 metros es un 2,98% superior al de 10 metros y un 0,38% superior al de 100 metros de distancia, con una desviación estándar de 4,65 dB a 10 metros, en 50 metros una desviación estándar de 4,49 dB y por último en 100 metros una desviación estándar de 4,60 dB.

En la tabla 20, se puede apreciar una comparativa entre el RSSI de la Zona Urbana y el RSSI de la Zona Rural para 100 paquetes en GSM/GPRS:

**Tabla 20.** Datos de Comparativa de RSSI en GSM/GPRS de 100 paquetes entre Zona Urbana y Rural.

Distancia [metros]	Zona Urbana RSSI promedio 100pq	Zona Rural RSSI promedio 100 pq
10	-73.46	-92.24
50	-71.97	-90.67
100	-72.04	-95.00



**Figura 23.** Comparativa de RSSI en tecnología GSM/GPRS entre la zona Urbana y la zona Rural.

Se aprecia claramente en la figura 23, que en 100 paquetes a una distancia de 10 metros el RSSI de la zona urbana presenta una inferioridad de un 20,39 % en comparación a la zona rural, en donde el RSSI de la zona rural presenta una desviación estándar de 5,92 dB y la zona urbana una desviación estándar de 5,52 dB. Mientras que a una distancia de 50 metros el RSSI de la zona urbana es 20,62 % menor que la zona rural, en donde el RSSI en la zona rural tiene una desviación estándar de 5,66 dB y en la zona urbana la desviación estándar es de 4,40 dB. En cambio, a una distancia de 100 metros el RSSI de la zona urbana es 24,17% inferior a la zona rural, con una desviación estándar en la zona rural de 5,29 dB y la zona urbana tiene una desviación estándar de 4,72 dB.

Como tercera y última métrica el Consumo de Energía, la cual permite verificar que tecnología produce un mayor o menor consumo energético. Los acrónimos que se encuentran en la tabla 21, significan Pq=paquetes, V=voltaje, A=amperaje, T=tiempo y CE=consumo energético. Primero se calcula el tiempo total de envío en base a los paquetes transmitidos y se transforma el tiempo total de envío en segundos como se puede visualizar en la tabla 21 y tabla 22.

**Tabla 21.** Transformación de Tiempo Total de envío a Segundos LoRa.

Paquetes LoRa	Tiempo total de envío	Tiempo en segundos
100	00:20:19.107	1219.11
500	01:41:22.803	6082.8
1000	03:22:33.734	12153.73

**Tabla 22.** Transformación de Tiempo Total de envío a Segundos GSM

Paquetes GSM	Tiempo total de envío	Tiempo en segundos
100	00:13:34.700	840.70
500	01:07:42.979	4062.98
1000	02:13:32.445	8012.45

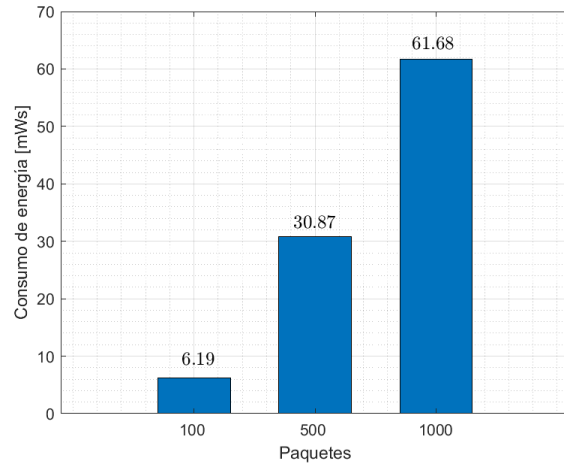
A continuación, se procede a medir el voltaje y el amperaje del módulo TTGO LoRa SX1276 y del SIM800L EVB para calcular la potencia energética y al multiplicar por el tiempo total de envío en segundos, se obtendrá el consumo de energía en [mW], los resultados aparecen en la tabla 23 y tabla 24.

**Tabla 23.** Consumo de energía LoRa a 100, 500 y 1000 paquetes

Pq	V	A	Pe	T	CE
100	3.31	0.0015	0.0051	1219.11	6.19
500	3.31	0.0015	0.0051	6082.8	30.87
1000	3.31	0.0015	0.0051	12153.73	61.68

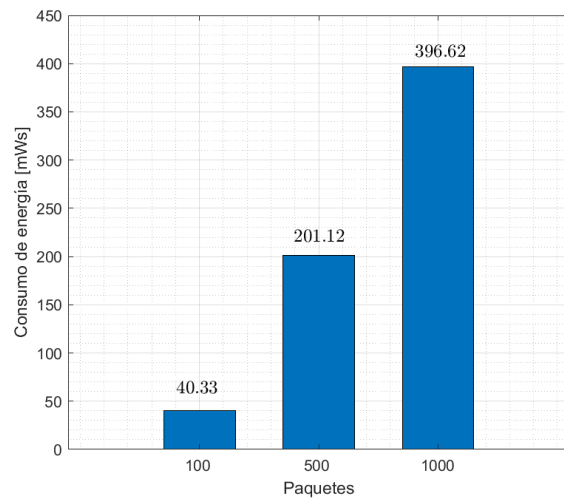
**Tabla 24.** Consumo de energía GSM/GPRS a 100, 500 y 1000 paquetes

Pq	V	A	Pe	T [s]	CE [mW*s]
100	4.95	0.01	0.0495	840.70	40.33
500	4.95	0.01	0.0495	4062.98	201.12
1000	4.95	0.01	0.0495	8012.45	396.62



**Figura 24.** Consumo de energía LoRa con 100, 500 y 1000 paquetes

En la figura 24, se visualiza que cuando se transmiten 500 paquetes el consumo de energía crece un 398.71%, mientras que cuando se transmiten 1000 paquetes en comparación de 500, el crecimiento es 99.81%.



**Figura 25.** Consumo de energía GSM/GPRS con 100, 500 y 1000 paquetes

En la figura 25, se visualiza que el consumo de energía en 500 paquetes en comparación con 100 paquetes tiene un crecimiento del 398,69%, mientras que el consumo de energía de 1000 paquetes a comparación de 500 tiene una superioridad del 97.21%.

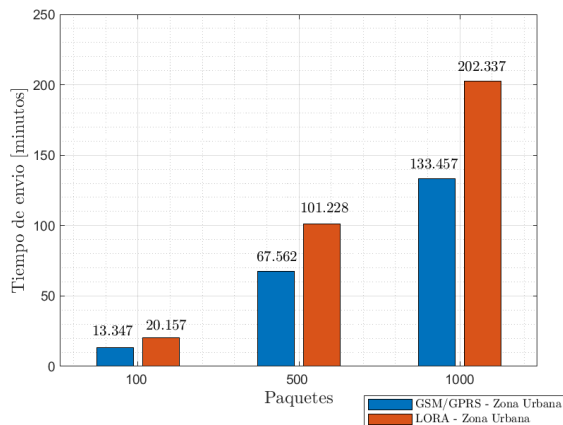
En base a los resultados de cada una de las tecnologías, se procede a realizar el

análisis comparativo entre ambas tecnologías.

En la tabla 25, se puede observar la comparativa del tiempo total de envío en la zona urbana entre GSM/GPRS y LoRa.

**Tabla 25.** Datos de tiempo total de envío entre GSM/GPRS y LoRa en la Zona Urbana

Paquetes	Tiempo de envío total GSM/GPRS Zona Urbana	Tiempo de envío total LoRa Zona Urbana
100	13.347	20.157
500	67.562	101.228
1000	133.457	202.337



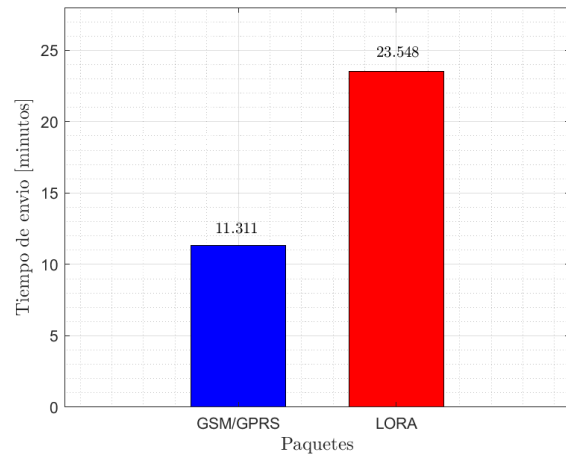
**Figura 26.** Comparativa de tiempo total de envío GSM/GPRS y LoRa en la Zona Urbana

Como se puede apreciar en la figura 26, para 100 paquetes GSM/GPRS presenta un 33,78% menos de tiempo total de envío que LoRa, mientras que para 500 paquetes GSM/GPRS es inferior en un 33,26% en el tiempo total de envío comparado con LoRa, en cambio en el envío de 1000 paquetes GSM/GPRS es 34,04 % menos que LoRa en el tiempo total de envío, en el ámbito urbano.

Respecto a la tabla 26, muestran los datos del tiempo total de envío tanto en la tecnología GSM/GPRS y LoRa en la zona rural.

**Tabla 26.** Datos de tiempo total de envío entre GSM/GPRS y LoRa en la Zona Rural

Paquetes	Tiempo de envío total GSM/GPRS Zona Rural	Tiempo de envío total LoRa Zona Rural
100	11.311	23.548



**Figura 27.** Comparativa del tiempo total de envío entre GSM/GPRS y LoRa en Zona Rural.

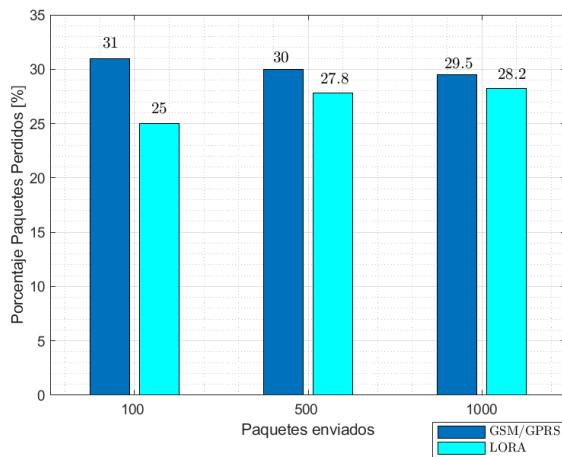
Se aprecia claramente en la figura 27, que GSM/GPRS presenta un 51,97 % inferior en el tiempo total de envío a 100 paquetes en la zona rural.

Respecto a la tabla 27, se muestran los datos de los paquetes perdidos entre GSM/GPRS y LoRa en la zona urbana.

**Tabla 27.** Datos de Porcentaje de paquetes perdidos GSM/GPRS y LoRa en Zona Urbana

Paquetes Totales	Porcentaje de Paquetes perdidos GSM/GPRS Zona Urbana [%]	Porcentaje de Paquetes perdidos LoRa Zona Urbana [%]
100	31	25
500	30	27.8
1000	29.5	28.2





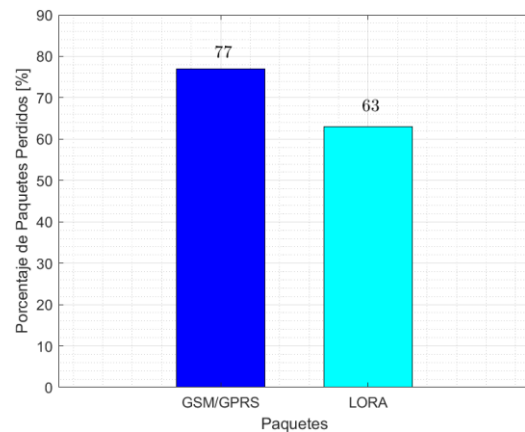
**Figura 28.** Comparativa de paquetes perdidos entre GSM/GPRS y LoRa en la Zona Urbana

En cuanto al porcentaje de paquetes perdidos como se puede visualizar en la figura 28, la tecnología LoRa es el que menor cantidad de paquetes perdió durante la transmisión con un 25% a diferencia de GSM/GPRS que perdió un 31% en el envío de 100 paquetes. Mientras que al enviar 500 paquetes LoRa mantiene un menor porcentaje de pérdida de paquetes con un 27,8% a comparación de GSM/GPRS que perdió un 30% de paquetes. En cambio, en el envío de 1000 paquetes LoRa obtiene un menor porcentaje de paquetes perdidos con un 28.2% a diferencia de GSM/GPRS que tiene un 29.5% de pérdida de paquetes, dentro de la zona urbana.

La tabla 28, se muestran los datos de los paquetes perdidos entre GSM/GPRS y LoRa en la zona rural.

**Tabla 28.** Datos de paquetes perdidos GSM/GPRS y LoRa en Zona Rural

Paquetes Totales	Paquetes Perdidos GSM/GPRS Zona Rural [%]	Paquetes Perdidos LoRa Zona Rural [%]
100	77	63



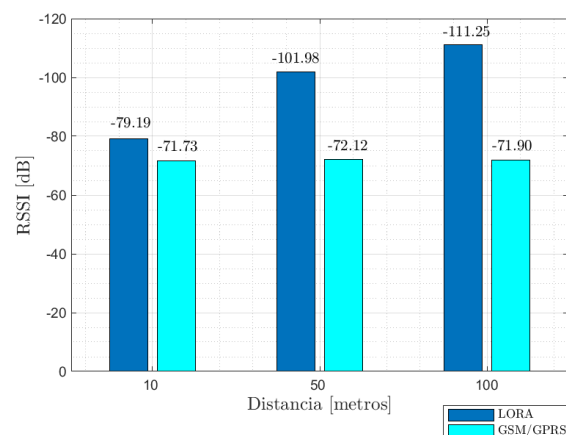
**Figura 29.** Comparativa de paquetes perdidos entre GSM/GPRS y LoRa en la Zona Rural

Se puede visualizar en la figura 29, que el porcentaje de pérdida de paquetes en la tecnología LoRa es menor en la transmisión de paquetes con un 63% mientras que GSM/GPRS tiene un 77 % de pérdida de paquetes en la zona rural.

Se puede observar en la tabla 29, los datos de la potencia de la señal GSM/GPRS y LoRa en la transmisión de datos.

**Tabla 29.** Datos de RSSI entre LoRa y GSM/GPRS en Zona Urbana

Distancia	RSSI LoRa Zona Urbana	RSSI GSM/GPRS Zona Urbana
10	-79.19	-71.73
50	-101.98	-72.12
100	-111.25	-71.90



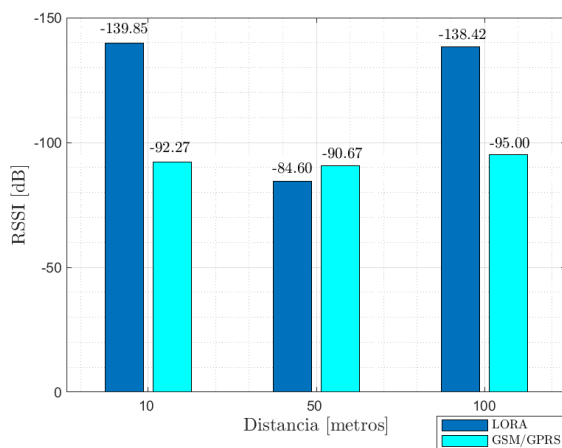
**Figura 30.** Comparación de RSSI entre LoRa y GSM/GPRS en la Zona Urbana

En la figura 30, referente al RSSI a una distancia de 10 metros GSM/GPRS tiene 9,42% mejor calidad de señal que LoRa, mientras que en 50 metros GSM/GPRS tiene 29,28 % mejor calidad en la señal que LoRa, en cambio a 100 metros GSM/GPRS tiene un mejor RSSI en un 35.37% a comparación de LoRa en la zona urbana.

En la Tabla 30, se presenta los datos del RSSI entre LoRa y GSM/GPRS en la zona rural.

**Tabla 30.** Datos del RSSI entre LoRa y GSM/GPRS en Zona Rural

Distancia	RSSI LoRa Zona Rural	RSSI GSM/GPRS Zona Rural
10	-79.19	-71.73
50	-101.98	-72.12
100	-111.25	-71.90



**Figura 31.** Comparación de RSSI entre LoRa y GSM/GPRS en la Zona Rural

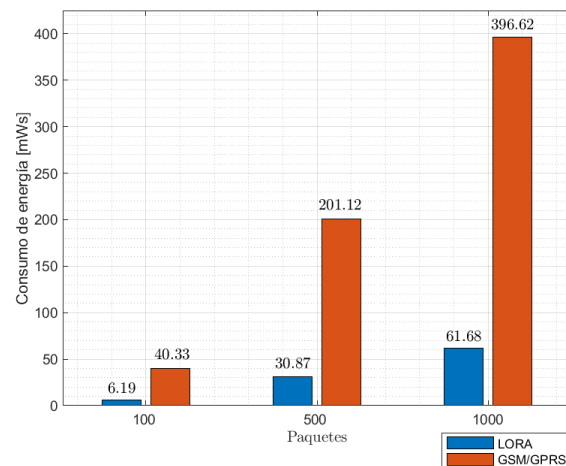
En la figura 31, a una distancia de 10 metros se puede observar que GSM/GPRS tiene mejor calidad de la señal en un 34,02% a comparación de LoRa, mientras que a una distancia de 50 metros LoRa presenta una mejor calidad de la señal en un 6,69% que GSM/GPRS, en cambio a 100 metros GSM/GPRS tiene 31,37% mejor calidad de señal que LoRa, en la zona Rural.

En la tabla 31, se muestra la información del consumo de energía entre GSM/GPRS y

LoRa para cada uno de los tiempos totales, así como de la cantidad de paquetes a enviar.

**Tabla 31.** Datos de Consumo de energía entre LoRa y GSM/GPRS

Paquetes enviados	Consumo de energía LoRa [mWs]	Consumo de energía GSM/GPRS [mWs]
100	6.19	40.33
500	30.87	201.12
1000	61.68	396.62



**Figura 32.** Comparación del consumo de energía entre LoRa y GSM/GPRS

En el envío de datos completo para 100, 500 y 1000 paquetes LoRa tiene un consumo de energía menor que GSM/GPRS en un 84.65 % para cada caso.

## 5. Trabajos futuros

En esta investigación en cuanto a futuras líneas de trabajo se puede incluir diferentes tipos de sensores y armar una red de sensores que permitan medir varios parámetros. También modificar los valores del ancho de banda y potencia de transmisión para visualizar hasta dónde llega señal e implementar distintos tipos de antena para alcanzar un mayor rango de cobertura tanto como en la transmisión y recepción

## 6. Conclusiones

En el análisis de rendimiento para la transmisión de datos inalámbricos en el



escenario LoRa y GSM/GPRS, entre el tiempo total de envío de paquetes y la cantidad de paquetes perdidos, se puede observar en la figura 26 y 27 la tecnología GSM/GPRS presenta un promedio del tiempo total de envío de 33.69 % menor al de la tecnología LoRa, pero con un 30,17 % de pérdida de paquetes a comparación de LoRa que presenta un 27 % de pérdida de paquetes, al contrastar estos datos se deduce que LoRa garantiza una mayor cantidad de paquetes recibidos pero a un mayor tiempo de envío.

La cobertura en ambos escenarios de transmisión con las tecnologías LoRa el módulo TTGO LoRa 32 realiza directamente una transmisión directa entre el nodo transmisor y el nodo receptor en la banda de frecuencia de 915 MHz perteneciente a Norteamérica y su cobertura se aproxima a los 10 Km sin línea de vista. Mientras que en GSM/GPRS el módulo SIM 800L EVB, la transmisión y recepción de SMS depende de la cantidad de Radio Bases de cada operador, como se aprecia en la figura 11, para llegar al nodo receptor por medio de la banda de GSM a 850 MHz. En relación a lo expuesto en la figura 30, que en la zona urbana GSM/GPRS tiene una mejor señal en un 24,69 %, a comparación de LoRa y en la zona rural GSM/GPRS mantiene una señal superior en un 26,21 % a diferencia de LoRa, pero eso no se refleja en la llegada de paquetes, puesto que tanto en la zona urbana como en la zona rural al no recibir una potencia considerable GSM/GPRS simplemente no envía el mensaje a lo contrario de LoRa que aunque no exista una potencia de señal considerable sigue enviando el paquete con un retardo de tiempo mayor.

El consumo de energía se midió en mili vatios por segundo, en la figura 32, se observa claramente que LoRa tiene un 84,65 % menos consumo de energía que GSM/GPRS en el escenario propuesto.

Finalmente, los resultados logrados en esta investigación fueron importantes para visualizar el amplio potencial que tiene la tecnología LoRa en la transmisión de datos de forma inalámbrica, tanto como en la zona urbana y rural, específicamente en la cantidad de paquetes recibidos con un menor consumo de energía, pero con un RSSI débil a diferencia de GSM/GPRS que muestra un tiempo menor de envío de paquetes con un RSSI estable, pero con un alto consumo de energía y mayor pérdida de paquetes. En consecuencia, la tecnología LoRa se posiciona como una excelente tecnología para trabajar en escenarios IoT.

## 7. Referencias

- [1] J. Carvalho Silva, J. Rodrigues, A. Alberti, P. Solic y A. Aquino, «LoRaWAN — A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities,» *IEEE*, pp. 1-6, 2017.
- [2] B. Carbonés Fargas y M. Nordal Petersen, «GPS-free geolocation using LoRa in low-power WANs,» *IEEE*, pp. 1-6, 2017.
- [3] Y. X. J. Z. Z. C. J. D. a. L. W. H. Jiang, «A 3D Cylinder MIMO Channel Model for 5G Macrocell Mobile-to-Mobile Communication Systems,» *IEEE Access*, vol. VII, p. 119351, 2019.
- [4] S. Hattarge, A. Kekre y A. Kothari, «LoRaWAN based GPS tracking of city-buses for smart public transport system,» *IEEE*, pp. 265-269, 2018.
- [5] I. C. M. a. D. A. D. D. Ardeljan, «3D Printer Fire Detection System with GSM Transmission,» *2021 12th International Symposium on Advanced*

- Topics in Electrical Engineering*, pp. 1-4, 2021.
- [6] Y. Z. D. L. K. L. a. Y. F. Y. Zhang, «Ultra-Wideband Dual-Polarized Antenna With Three Resonant Modes for 2G/3G/4G/5G Communication Systems,» *IEEE Access*, vol. XII, pp. 43217-43219, 2019.
- [7] J. Navarro Ortiz, S. Sendra, P. Ameigeiras y J. Lopez Soler, «Integration of LoRaWAN and 4G/5G for the Industrial Internet of Things,» *IEE*, vol. II, nº 2, pp. 60-67, 2018.
- [8] A. Singh Rawat, J. Rajendran, H. Ramiah y A. Rana, «LoRa (Long Range) and LoRaWAN Technology for IoT Applications in COVID-19 Pandemic,» *IEEE*, pp. 419-442, 2020.
- [9] A. Simo, C. Barbulescu, S. Kilyeni y C. Dragos, «LoRa based energy efficiency improving in manufacturing processes,» *IEEE*, pp. 156-161, 2018.
- [10] N. Varsier y J. Schwoerer, «Capacity limits of LoRaWAN technology for smart metering applications,» *IEE*, pp. 1-6, 2017.
- [11] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, México D.F.: Mexicana, 2014.
- [12] Random Nerd Tutorials, «TTGO LoRa32 SX1276 OLED Board: Getting Started with Arduino IDE,» 2019. [En línea]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/ttgo-lora32-sx1276-arduino-ide/>.
- [13] Random Nerd Tutorials, «ESP32 with DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Sensor using Arduino IDE,» 2019. [En línea]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dht11-dht22-temperature-humidity-sensor-arduino-ide/>.
- [14] Random Nerd Tutorials, «ESP32 OLED Display with Arduino IDE,» 2019. [En línea]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ssd1306-oled-display-arduino-ide/>.
- [15] D. Shik Kim, W. Sang Yoon y S. Hoon Chai, «Implementation of RF narrow band frequency synthesizer for LoRaWAN system,» *IEEE*, pp. 232-233, 2017.
- [16] M. L. Machado González, *Estudio de NB-IoT y comparativa con otras*, Universidad Oberta de Catalunya, 2019.
- [17] J. Reinosa, «Desarrollo y construcción de un sistema de monitoreo de alarmas a través de gprs y arduino para el nodo Buenos Aires,» *Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Buenos Aires*, pp. 55-56, 2019.
- [18] Arcotel, «Agencia de Regulación y control de las telecomunicaciones,» Arcotel, 20 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/NORMA-ESPECTRO-DE-USO-LIBRE-Y-ESPECTRO-PARA-USO-DETERMINADO-EN-BANDAS-LIBRES.pdf>. [Último acceso: 10 05 2021].
- [19] C. Rondero y V. Font, «Articulación de la complejidad matemática de la media aritmética,» *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, vol. XXXIII, nº 2, pp. 29-49, 2015.

- [20] N. Vara, G. Poletto, M. Cáceres y A. Busso, «Cálculo de distancia entre los nodos de una Red Inalámbrica Zigbee en función del parámetro RSSI,» *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, vol. II, pp. 8-13, 2015.
- [21] L. Dopazo González, Test y despliegue de tecnología de comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
- [22] A. C. a. J. Tintin, «Diseño, construcción e implementación de un sistema de telemetría utilizando tecnología GSM; para el monitoreo de parámetros de temperatura, presión de aceite, velocidad de giro de motor y velocidad de desplazamiento de un vehículo Chevrolet optra 2008,» *Universidad Politécnica Salesiana*, p. 47, 2010.
- [23] J. D. Rodriguez Munca, DISPOSITIVO LoRa DE COMUNICACIÓN A LARGO ALCANCE, Universidad Politécnica de Madrid, 2016.
- [24] J. L. X. L. a. M. L. L. Wang, «Multi-level error detection and concealment algorithm to improve speech quality in GSM full rate speech codecs,» *Tsinghua Science and Technology*, vol. XVI, pp. 252-253, 2011.
- [25] C. Rondero y V. Font, «Articulación de la complejidad matemática de la media aritmética,» *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, vol. XXXIII, nº 2, pp. 29-49, 2015.